

емые методы использования нечетких графов в функционально-логическом моделировании позволяют оптимизировать структуру исследуе-

мого объекта и провести проверку корректности алгоритмов логического управления в условиях случайных изменений внешних воздействий.

*Физико-математические науки*

**СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ТЕРМОАНОМОМЕТРИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТЕЧЕНИЙ В АЭРОФИЗИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ**

Грек Г.Р., Гилев В.М., Зверков И.Д., Сорокин А.М.

*ФГБУН «Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН», Новосибирск, e-mail: gil@itam.nsc.ru*

В данной работе представлена структура создаваемой автоматизированной системы, предназначенной для пространственно-временной визуализации течений в аэрофизическом эксперименте. С помощью данной системы будет производиться автоматизированный ввод результатов измерений непосредственно в ЭВМ, их накопление в базе данных, обработка и их графическое представление.

Ключевые слова: аэродинамическая труба, координатное устройство, визуализация течений, автоматизированная система сбора и обработки экспериментальных данных

Введение. В настоящее время, как в России, так и за рубежом широким фронтом ведутся как теоретические, так и экспериментальные исследования по изучению фундаментальной проблемы механики – проблемы понимания сложного механизма перехода к турбулентности течений жидкости и газа. На основе этого понимания можно предложить различные методы управле-

ния, как затягиванием, так и ускорением процесса турбулизации течений. Экспериментальные исследования, проводимые в этом направлении, характеризуются использованием, главным образом, термоанемометрических методов измерения средних и пульсационных составляющих скорости течения и различных способов визуализации потока. Здесь коллективом авторов получен ряд приоритетных фундаментальных результатов, опубликованных как в монографиях, так и в ведущих мировых научных журналах [1–5]. Участники проекта имеют также значительный опыт в области создания систем автоматизированного сбора данных и управления ходом проведения эксперимента [6–7]. По окончании выполнения представляемого проекта у исследователей в руках будет новый мощный инструмент для проведения фундаментальных научных исследований и дальнейшего продвижения вперед в области аэродинамики дозвуковых течений. При этом следует отметить, что термоанемометрия дает количественную информацию о состоянии течения, в то время как визуализация отражает, в основном, качественное состояние потока.

В качестве исследуемого объекта использована аэродинамическая труба дозвуковых скоростей Т-324 ИТПМ СО РАН. Благодаря низкому уровню турбулентности, эта установка является единственной уникальной установкой подобного класса в Российской Академии наук. Она представляет собой исследовательский объект со следующими характеристиками:

- размер рабочей части трубы
- диапазон скоростей потока
- степень турбулентности в рабочей части

1,0 × 1,0 × 4,0 м;  
2 – 100 м/с;  
менее 0,04 %.

С использованием современных компьютерных технологий создаваемая автоматизированная система позволит получать количественную информацию о происходящих в возмущенном течении процессах по точкам, а также в виде картин и видеороликов пространственно-временной термоанемометрической визуализации, из которых можно судить о распределении в пространстве и времени как средних, так и пульсационных составляющих каждой из компонент скорости потока (U, V, W). Данная система позволяет получать детальную информацию о динамике развития пристенных, отрывных и свободных сдвиговых течений.

В разрабатываемой системе предполагается организовать автоматизированный ввод результатов пространственно-временных термоанемометрических измерений течения газа непосредственно в ЭВМ в режиме реального времени, их накопление, обработку по заданным программам и графическое представление как в виде картин пространственной визуализации течения, так и в форме пространственно-временных видеороликов, отражающих процесс развития возмущенного течения в динамике. Система обеспечит на современном уровне автоматизацию проведения экспериментальных исследований фундаментального характера, связанных

с изучением восприимчивости и устойчивости сдвиговых слоев, механизмов турбулизации течений и турбулентности.

Структурно создаваемая система разделена на три независимые части (три подсистемы):

1. Автоматизированное координатное устройство. Данная подсистема будет включать в себя управляемое компьютером оригинальное координатное устройство, позволяющее по заданной программе прецизионным образом перемещать датчик термоанемометра в трехмерном пространстве рабочей части аэродинамической трубы.

2. Автоматизированная подсистема сбора данных. Эта подсистема будет связана с измерительным прибором – термоанемометром, который будет производить измерения средних и пульсационных составляющих скорости потока, оцифровывать их с помощью АЦП и вводить в реальном масштабе времени в компьютер. Подсистема будет связана с первой через обратную связь: сигнал об окончании единичного измерения через компьютер даст импульс координатному устройству к перемещению датчика термоанемометра в следующую измерительную позицию и т.д. Каждый измеренный термоанемометром сигнал представляет собой осциллограмму, которая будет подвергаться в компьютере операции осреднения по ансамблю для устранения случайного шума.

3. Подсистема визуализации. Данная подсистема будет осуществлять визуализацию полученных результатов. Набор введенных в компьютер осциллограмм будет собираться в специальную матрицу, программная обработка которой в среде MATLAB позволит получить пространственно-временные картины термоанемометрической визуализации течения.

Все подсистемы будут управляться программами, созданными с использованием программного обеспечения Visual C++, LabVIEW и MATLAB. Тарировка датчиков термоанемометра будет проводиться с помощью представляемой автоматизированной системы перед началом эксперимента. Тарировочные данные будут заноситься в память компьютера и в дальнейшем использоваться при обработке результатов измерений.

Таким образом, измерительная подсистема обеспечивает выполнение следующих функций:

– автоматизированная калибровка датчиков термоанемометра;

– синхронизированный ввод экспериментальных данных непосредственно в компьютер с сохранением информации о фазе измеряемого сигнала; сбор и накопление результатов измерений в базе данных, где предполагается хранить результаты проводимых экспериментов.

В создаваемой системе предполагается широкое использование программных средств для осуществления гибкой настройки эксперимента

непосредственно с рабочего места экспериментатора. Так, с помощью клавиатуры компьютера предоставляется возможность задавать скорость перемещения датчика термоанемометра, количество шагов перемещения, начальную и конечную координату датчика и т.д. При этом предполагается организация как ручного запуска измерений (например, в режиме отладки), так и автоматического, задаваемого программно.

**Заключение.** К настоящему времени разработана структура создаваемой автоматизированной системы, отрабатываются алгоритмы ее функционирования. Создано автоматизированное координатное устройство, помощью которого производится перемещение датчика в рабочей части аэродинамической трубы, проводятся работы по его отладке.

*Работа выполнялась при финансовой поддержке грантов РФФИ № 13-07-00616 и 12-07-00548.*

#### Список литературы

1. Бойко А.В., Грек Г.Р., Довгаль А.В., Козлов В.В. Возникновение турбулентности в пристенных течениях // Монография, Новосибирск: Изд. «Наука», 1999, 327 с.
2. Boiko A.V., Grek G.R., Dovgal A.V., Kozlov V.V. The Origin of Turbulence in Near-Wall Flows // Monography, 2002, Springer-Verlag. 263 p.
3. Чернорай В.Г., Литвиненко Ю.А., Козлов В.В., Грек Г.Р. Исследование нелинейной неустойчивости продольной структуры, генерированной шероховатостью в пограничном слое прямого крыла // Теплофизика и Аэромеханика, 2007, том 14, N 3, – С. 359–376.
4. Козлов Г.В., Грек Г.Р., Сорокин А.М., Литвиненко Ю.А. Влияние начальных условий на срезе сопла на структуру круглой струи // Теплофизика и Аэромеханика, 2008, том 15, N 1, – С. 59–73.
5. Chernoray V.G., Grek G.R., Kozlov V.V. and Litvinenko Yu.A. Spatial hot-wire visualization of the Lambda-structure transformation into the turbulent spot on the smooth flat plate surface and riblet effect on this process // Journal of Visualization, 2010, Vol. 13, No. 2, P. 151–158.
6. Sobstel G.M., Garkusha V.V., Yakovlev V.V., Gilyov V.M., Zapryagaev V.I., Pevzner A.S. Automation of experimental studies in supersonic wind tunnels // Proceedings of the IASTED International Conferences on Automation, Control, and Information Technology (ACIT 2010), Novosibirsk, June 15 – 18, 2010. – P. 168–173.
7. Запрыгаев В.И., Гилев В.М., Певзнер А.С., Собстель Г.М., Гаркуша В.В., Яковлев В.В. Автоматизированные системы сбора и обработки экспериментальных данных в аэродинамических трубах периодического действия // Проблемы и достижения прикладной математики и механики: к 70-летию академика В.М. Фомина: сб. науч. трудов / ред. кол.: Федоров А.В. (отв. ред.) и др. – Новосибирск: Параллель, 2010. – С. 183–192.